

STM による $\text{Fe}_3\text{O}_4(001)$ 表面第二層の電子状態測定

Measurement of electronic states in $\text{Fe}_3\text{O}_4(001)$ subsurface layer by STM

北大院情報科学 [○]城地雅史, 樋浦諭志, 池内昭朗, Shirini Soraya, Subagyo Agus, 末岡和久

Graduate School of Information Science and Technology, Hokkaido University

[○]M. Jochi, S. Hiura, A. Ikeuchi, S. Shirini, A. Subagyo, and K. Sueoka

E-mail: m-jyouchi@nano.ist.hokudai.ac.jp

$\text{Fe}_3\text{O}_4(001)$ 表面の構造および電子状態は低速電子線回折や走査型トンネル顕微鏡(STM)[1], 理論計算[2]を用いて研究されてきた. これらの研究により, $\text{Fe}_3\text{O}_4(001)$ 表面が $(\sqrt{2} \times \sqrt{2})R45^\circ$ 再構成構造を示すことが明らかになった[2]. 表面電子状態に関しては 1990 年代から議論が続いており, 最表面や表面第二層で電荷秩序整列(Charge Ordering)現象が起こるとするモデル[3, 4]や, 表面第二層で Fe 原子が周期的に欠損するとするモデル[5]などが提唱されている. 本報告では, STM により $\text{Fe}_3\text{O}_4(001)$ 最表面および表面第二層の電子状態を原子レベルで調べ, 表面第二層における Charge Ordering 現象について議論する.

本実験には Omicron 社製の室温超高真空 STM システム(到達真空度: 5.0×10^{-9} Pa)を用いた. 酸素雰囲気中(7.0×10^{-5} Pa)で $\text{MgO}(001)$ 基板上に鉄を蒸着することにより, $\text{Fe}_3\text{O}_4(001)$ 薄膜を 20 nm エピタキシャル成膜した[1]. 成膜後, STM 測定による表面の原子構造観察, ロックインアンプを用いた電圧変調による局所状態密度(LDOS)の 2次元マッピングをおこなった.

Fig. 1(a)に LDOS 像を上重ね合わせた STM 像を示す ($V_s = 1.2$ V). 表面 Fe 原子が波状の原子配列をとっており, Fe 原子列の間隔が広いサイトと狭いサイトが存在する(以後, これらのサイトをそれぞれ wide(w), narrow(n)サイトとする). LDOS 像から最表面の Fe 原子だけでなく表面 Fe 原子が存在しない w, n サイトにも LDOS が分布していることが見て取れる. Fe 原子列間に存在する O 原子が STM 像で見られないことから, 表面第二層の電子状態を観測していると考えられる. また, Fe 原子列とは垂直な方向に注目すると w, n サイトにそれぞれ大きな LDOS と小さな LDOS が周期的に分布している. Fig. 1(b)は表面第二層における Charge Ordering モデル[4]であり, 本研究の結果は w, n サイトにそれぞれ $\text{Fe}^{3+}\text{-Fe}^{3+}$ ダイマーと $\text{Fe}^{2+}\text{-Fe}^{2+}$ ダイマーが存在することを示している.

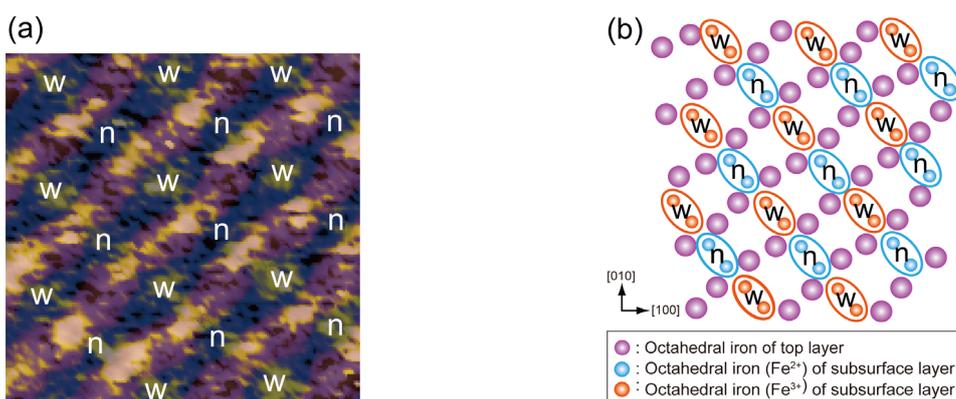


Fig. 1. (a) Local density of states (LDOS) map superimposed onto STM image ($V_s = 1.2$ V, 2.2×2.2 nm²). (b) Atomic arrangement model of charge ordering of Fe atoms in the subsurface layer.

- [1] A. Ikeuchi *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **51**, 08KB02 (2012).
 [2] R. Pentcheva *et al.*, Phys. Rev. Lett. **94**, 126101 (2005).
 [3] R. Wiesendanger *et al.*, Science **255**, 583 (1992).
 [4] Z. Łodziana *et al.*, Phys. Rev. Lett. **99**, 206402 (2007).
 [5] R. Bliem *et al.*, Science **346**, 1215 (2014).